DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)07-0158-04

一种面向无人值守螺旋卸煤机的运煤车厢定位系统

吕宜光, 孙凯明, 郝 明, 王 刚

(黑龙江省科学院智能制造研究所,哈尔滨 150090)

摘 要:目前我国是以煤炭为主的能源结构,提升煤炭运输环节中的装卸效率与安全性对能源供应链的稳定至关重要。传统铁路敞车卸煤作业长期依赖人工操作螺旋卸煤机,存在劳动强度大、效率低、安全风险高等突出问题,行业亟待向智能化转型。为此,设计了一套基于机器视觉的无人值守螺旋卸煤机系统。该系统硬件上集成高性能工业相机、专用光源与行走机构,构建了稳定的图像采集平台;软件上融合图像处理与深度学习算法,核心在于提出一种创新的运煤车厢定位方法。该方法部署两套视觉系统协同工作:侧方固定系统通过 CNN+LSTM 结合的深度学习模型识别车厢编号,并据此查询数据库获取该车型标准几何参数;上方移动系统在行走机构驱动下扫描车厢,利用边缘检测与轮廓提取技术实时获取实际轮廓特征。通过将实时视觉数据与标准参数进行融合与坐标转换,系统能在全局坐标系中精确计算车厢位置与姿态,为卸煤机自动化控制提供关键空间基准。实验结果表明,该方法能有效完成车厢号码与区域分割,定位数据可靠,满足了无人值守作业的精度要求。该系统成功实现了卸煤流程的自动化与智能化,显著提升了作业安全与效率,为铁路煤炭装卸设备升级提供了坚实的技术支撑,并具有向更广泛散货物流领域推广的应用前景。

关键词:螺旋卸煤机;目标定位;视觉系统;机器视觉;深度学习;图像处理

中图分类号: TP391.41;U272.6+2 **文献标志码**: A **文章编号**: 1003-7241(2026)07-0158-04

A positioning system for coal wagons oriented towards unattended spiral coal unloaders

Lyu Yiguang, Sun Kaiming, Hao Ming, Wang Gang

(Intelligent Manufacturing Research Institute, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150090, China)

Abstract: Currently, China's energy structure remains predominantly reliant on coal. Enhancing the efficiency and safety of coal loading and unloading within the transportation process is crucial for the stability of the energy supply chain. Traditional railway gondola coal unloading operations have long depended on manual control of spiral unloaders, which presents significant issues such as high labor intensity, low efficiency, and safety risks, urging the industry towards intelligent transformation. To address this, this paper designs an unmanned spiral unloader system based on machine vision. The system's hardware integrates high-performance industrial cameras, specialized lighting, and a traversing mechanism to establish a stable image acquisition platform. The software combines image processing and deep learning algorithms, with its core innovation being a novel method for positioning coal wagons. This method deploys two vision systems working collaboratively: a fixed side system identifies the wagon number using a deep learning model combining CNN and LSTM, querying a database to obtain the wagon's standard geometric parameters; an overhead mobile system, driven by the traversing mechanism, scans the wagon contour, utilizing edge detection and contour extraction techniques to acquire real-time actual contour features. By fusing the real-time visual data with standard parameters and performing coordinate transformation, the system accurately calculates the wagon's position and orientation in the global coordinate system, providing a critical spatial reference for the unloader's automated control. Experimental results demonstrate that this method effectively accomplishes wagon number and region segmentation, yielding reliable positioning data that meets the accuracy requirements for unattended operation. The system successfully achieves automation and intelligence in the unloading process, significantly improving operational safety and efficiency. It provides substantial technical support for upgrading railway coal handling equipment and holds promising potential for broader application within the bulk material logistics field.

Keywords: spiral coal unloading machine; target positioning; vision system; machine vision; deep learning;image processing

在全球能源需求持续攀升的背景下,煤炭作为支撑我国国民经济发展的主体能源,其稳定供应关乎国家能源安全大局。铁路作为煤炭的主要运输方式,其装卸过程的安全性与效率对保障能源供应至关重要[1]。

收稿日期:2025-12-19;**录用日期**:2026-01-23

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZBZ202502001)

作者简介:吕宜光(1989—),男,硕士,助理研究员,研究方向为计算机技术与应用。

通信作者:孙凯明(1979—),男,硕士,研究员,研究方向为机器视觉。

引用本文:吕宜光, 孙凯明, 郝明,等. 一种面向无人值守螺旋卸煤机的运煤车厢定位系统[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(7):158-161. (Lyu Yiguang, Sun Kaiming, Hao Ming, et al. A positioning system for coal wagons oriented towards unattended spiral coal unloaders[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(7):158-161.)

煤炭卸载作为煤炭运输的终端环节,当前仍面临技术体系不完善、标准规范缺失的突出问题。国内外在无人化卸煤机领域的研究尚处探索阶段,关键技术标准尚未统一,现有敞车卸煤作业仍主要依赖传统人工操作模式[2]。针对这一现状,亟需推进卸煤作业智能化转型,通过构建融合自动控制、人工智能、通信技术及机械工程等多学科协同的智能化作业体系,在保障敞车卸煤作业质量的基础上,实现卸煤流程的自动化、精准化与高效化[3-4]。

传统的铁路煤炭装卸方式采用螺旋卸煤机,它是一种电动卸车机械,采用人工操作和半自动化控制,存在劳动强度大、安全性低、效率差及环境污染等问题[5-7]。为了应对这些挑战,基于机器视觉的无人值守螺旋卸煤机系统应运而生,其通过智能化手段有效提升卸煤作业的效率与安全性[8-9]。



图 1　卸煤作业现场环境

Fig. 1　Environment of the coal unloading operation

在卸煤智能化控制领域国内外研究情况,Pezo 等[10]通过实验研究与离散元法(DEM)模拟,探讨了螺旋输送机中的输送机理与混合过程,提升螺旋输送机的性能效率、可靠性及广泛适用性。Zuo 等[11]构建了一套煤炭码头装卸系统设备配置优化模型,同时设计了一种基于仿真的求解算法,解决煤炭码头装卸设备配置问题。郭盼等[12]对其所在发电公司通过输煤系统综合治理、智能感知网络构建、斗轮机无人化控制等关键技术,实现输卸煤系统的无人值守。李虎等[13]通过对火电厂输卸煤燃料系统多维度无人值守综合监控平台设计研究,结合 AI 图像识别、机器人巡检等技术提升。齐健等[14]结合快速定量装置、智能感知设备、人工智能算法以及人机交互平台,实现了新疆某选煤厂装车全流程无人化全自动执行。霍同乾等[15]针对翻车机翻卸后的铁路敞车内余煤清扫工作,提出多融合传感器方法,实现清扫设备对车厢定位,提高清扫效率。叶飞[16]提出基于目标检测与实力分割交互的图像智能识别方法,实现铁路货车装载状态智能识别,有效降低货检人员工作强度提升作业安全。李志康[17]提出了一种基于 CNMI-HHO 优化的机器人摘钩模糊控制算法,提高敞车摘钩作业准确性。

本文针对无人值守螺旋卸煤机的需求,结合上述卸煤领域成果,研究运煤车厢的定位方法,通过集成先进的机器视觉技术与深度学习算法,实现运煤车厢的精准定位与智能化卸煤。

1　系统设计

本文针对火力发电厂等螺旋卸煤机的卸煤作业场景,设计并搭建了一套基于机器视觉的无人值守螺旋卸煤机系统,其结构如图 2 所示。系统硬件平台主要由高性能工业相机、专用光源、行走机构等关键部件构成。在相机选型上,重点考量了分辨率、帧率及环境适应性等因素,以确保在不同光照条件下均能稳定采集高质量图像。光源方案则针对现场工况设计,用于有效抑制阴影、增强图像特征。视觉系统的具体硬件选型如表 1 所示。系统软件部分集成图像处理与深度学习算法,用于对运煤车厢的自动识别与定位。

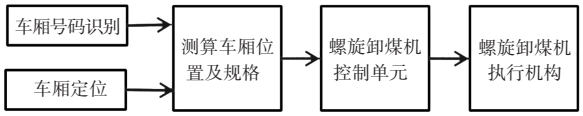


图 2　系统框图

Fig. 2　System block diagram

表 1　视觉系统硬件选型

Tab. 1　Hardware selection for vision system

名称	型号	特点
工业面阵相机 1	MV-CH120-10GM	1200 万像素、1.1 英寸 CMOS 全局快门工业面阵相机,主要应用于无人值守卸煤、物流分拣、电子半导体检测等自动化场景。
工业面阵相机 2	MV-CH250-90GM	2500 万像素高帧率全局快门工业面阵相机,专为高速动态场景设计,广泛应用于无人值守卸煤、物流分拣、电子制造检测等领域。
镜头 1	CDP0828-C	适用于工业机器视觉与自动化检测。
镜头 2	MVL-KF0618M-12MPE	针对高分辨率工业相机设计的 FA(机器视觉)定焦镜头,适用于 1200 万像素级相机。
光源 1	LD-LIS-301000-W	条形光源
光源 2	LD-LIS-301000-W	条形光源

2 基于机器视觉的车厢定位

如图3所示,本文构建的基于机器视觉的运煤车厢定位方法布署了两套视觉系统。其中,一套固定安装于车厢侧面,采用面阵相机,通过识别车厢编号来查询其预设的标准几何参数;另一套安装于车厢上方,同样采用面阵相机,并由行走机构驱动其移动,用于扫描车厢轮廓通过视觉分割方法提取关键特征。

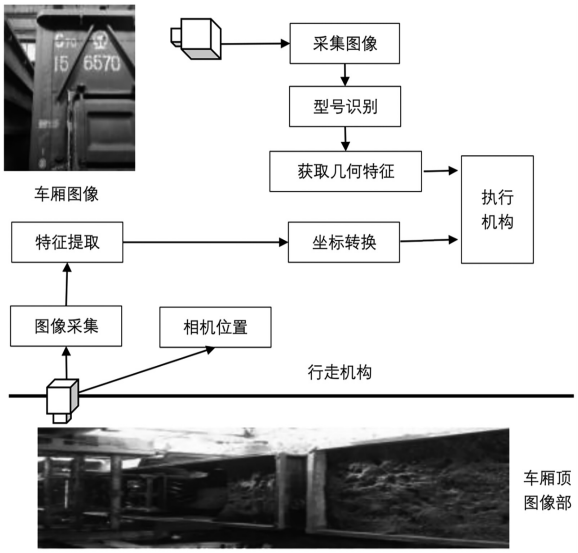


图3 基于机器视觉的运煤车厢定位方法框图

Fig. 3 Block diagram of coal-carrying carriage localization method based on machine vision

2.1 车厢几何信息提取

视觉系统是无人值守螺旋卸煤机的核心组成部分,主要负责运煤车厢图像的采集、预处理、特征提取与识别。系统首先通过高清工业相机采集车厢图像,随后对图像进行预处理,通过去噪、增强及二值化等操作,以提升图像质量。接着,系统利用深度学习算法从预处理后的图像中提取特征,核心步骤是完成车厢编号的分割与识别。基于深度学习模型,系统能够准确识别出车厢编号,并以此作为索引查询数据库,从而获取对应车厢的标准几何形状参数。为实现系统部署的灵活性并缩短开发周期,数据库选用轻量级的SQLite,提取方法框图如图4所示。

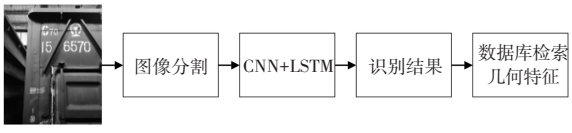


图4 基于机器视觉的运煤车厢几何信息提取方法框图

Fig. 4 Block diagram of geometric information extraction method for coal-carrying carriage based on machine vision

模型结构如图5所示。文字识别模型主要由特征编码器(CNN_simAM)和特征解码器(BiLSTM)两部分组成[18]。其中,特征编码器CNN_simAM的结构依次为:卷积层(Conv)+Mish激活函数+卷积层(Conv)+Mish激活函数+实例归一化(InstanceNorm2d)+卷积层(Conv)+基于相似度的注意力模块(simAM)。Mish激活函数的表达式为:$f(x) = x \times \tanh(\ln(1 + e^x))$。simAM的全称是Similarity-based Attention Module,表示基于相似度的无参数注意力模块[19-20]。模型参数见表2。

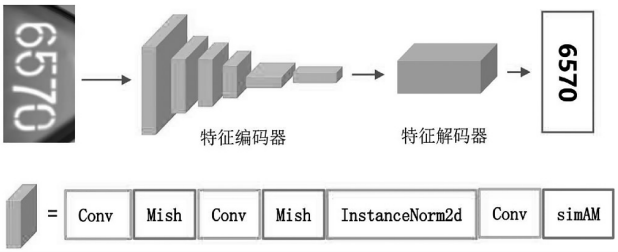


图5 CNN+LSTM文字识别模型结构

Fig. 5 Structure of CNN+LSTM text recognition model

表2 CNN+LSTM文字识别模型参数

Tab. 2 Parameter Structure of the CNN+LSTM text recognition model

模块类型	模块名称	特征形状
输入	—	1×244×64
特征编码器	CNN_simAM 1	16×122×32
	CNN_simAM 2	32×32×16
	CNN_simAM 3	64×8×8
	CNN_simAM 4	128×4×4
	CNN_simAM 5	256×2×2
	CNN_simAM 6	512×1×1
特征解码器	BiLSTM	隐藏层256,输出121
输出	—	字符输出

2.2 车厢的定位

基于机器视觉的运煤车厢定位方法是实现无人值守螺旋卸煤机自动化作业的关键环节。该方法基于OpenCV实现,处理流程如图6所示,具体步骤如下。

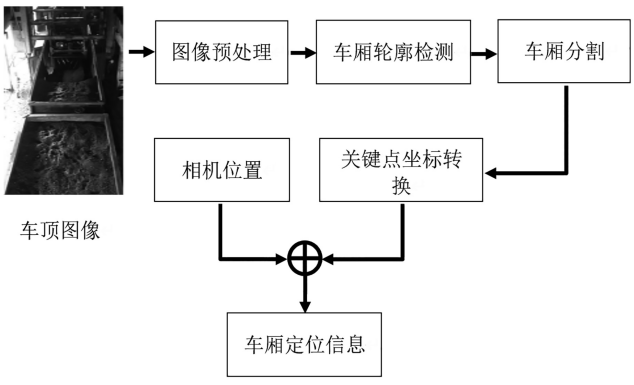


图6 基于机器视觉的运煤车厢定位方法流程

Fig. 6 Flow of coal-carrying carriage localization method based on machine vision

1)图像采集。通过部署的高清工业相机采集运煤车厢的图像。

2)图像预处理。对原始图像进行去噪、对比度增强及二值化等处理,以提升图像质量[21-23]。

3)特征提取。采用Canny算子进行边缘检测,并利用findContours函数提取车厢的轮廓特征[24-25]。

4）车厢分割。根据所提取的轮廓并结合区域筛选，分割车厢区域。

5）关键点坐标转换。提取车厢轮廓的角点等关键点，并依据相机标定参数，将像素坐标转换至全局坐标系。

6）运煤列车定位。结合相机位置和关键点坐标计算车厢定位信息。

3 实验结果

为了验证本方法的可行性与有效性，对基于机器视觉的运煤车厢几何信息提取方法进行测试，测试结果如图 7 所示。从原始图像中精准圈定车厢号码所在的潜在区域图 7(b)。此步骤目的在于缩小处理范围，排除车厢非号码区域的视觉噪声，图 7(c)为分割结果，其表明本文提出的方法能有效分割出车厢号码。

图 8 为基于机器视觉的运煤车厢定位方法的车厢分割结果图，通过预处理降噪并结合边缘特征提取筛选其中直线部分如图 8(b)，以此确定候选区域缩小分割范围，再经语义分割精准区分车厢与背景，最终为车厢定位提供像素区域信息如图 8(c)。从图中可以看出，本方法可以有效分割出车厢区域，为车厢的定位提供可靠关键数据。



（a）车厢图像　（b）区域定位　（c）车号分割

图 7　车厢号码分割结果

Fig. 7　Carriage number segmentation result



（a）车顶图像　（b）车厢边缘识别　（c）关键区域提取

图 8　车厢分割结果

Fig. 8　Carriage segmentation result

综上，本方法可以满足面向无人值守螺旋卸煤机的运煤车厢定位要求。

4 结论

本文针对无人值守螺旋卸煤机的作业需求，提出了一种基于机器视觉的运煤车厢定位方法。通过融合机器视觉与深度学习算法，实现了对运煤车厢的精准识别与定位。实验结果表明，该方法能够有效满足无人值守作业要求，实现螺旋卸煤机的智能化控制。该系统的开发与应用不仅提升了煤炭装卸作业的效率和安全性，也为铁路卸煤专用设备的自动化升级提供了技术支撑。未来工作中，我们将进一步优化系统性能并拓展其应用场景，为推动煤炭行业智能化发展提供更多技术支持。

参考文献

[1]朱晔，张戎. 铁路煤炭运输发展趋势研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(4)：98-103.
[2]郑宏远，卢宁，龚涛. 智能卸煤机器人关键技术[J]. 科学技术与工程，2024，24(17)：7131-7139.
[3]郑宏远，卢宁，宋鹏程，等. 智能塔式起重机关键技术研究[J]. 机电工程，2023，40(3)：435-443.
[4]刘胜，温锡峰，陈秀英. 机器人应用与中国制造业绿色转型[J]. 首都经济贸易大学学报，2023，25(5)：50-64.
[5]陈鸿鑫，朱钱军. 螺旋卸煤机在散货码头中的应用分析[J]. 现代制造技术与装备，2024，60(3)：88-90.
[6]林木松，范圣平，钟丁平，等. 燃煤电站输卸煤系统新型抑尘剂研制及特性研究[J]. 广东电力，2020，33(11)：125-134.
[7]陈建忠，褚孝国，赵霞，等. 燃煤电站输煤廊道机器人自动巡检系统技术开发与应用[J]. 热力发电，2019，48(9)：145-150.
[8]魏子柔，陈国华，高振山. 基于 OpenCV 的道路损伤识别算法研究[J]. 现代信息科技，2024，8(15)：104-108.
[9]董翼宁，曹景胜，孙飞宇，等. 基于 OpenCV 图像处理的车道线识别研究[J]. 仪器仪表与分析监测，2023 (3)：29-32.
[10]Pezo M，Pezo L，Loncar B，et al. Granular flow in screw conveyors：A review of experiments and discrete element method (DEM) studies[J]. Powder Technology，2025(459)：121040.
[11]Zuo Tianli，Li Wei，Cao Zhen，et，al. Simulation and optimization Research on Equipment Configuration of Coal Terminal Loading and Unloading Operation Systems[C]//2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA). Dalian：IEEE，2022：85-90.
[12]郭盼，徐伯梁，王志峰，等. 华电新疆五彩湾北一发电有限公司输卸煤系统无人值守智能化改造技术[C]//2025 年(第八届)火电燃料管理及智能技术应用研讨会论文集，青岛：[出版者不详]，2025：88-91.
[13]李虎，王哲. 火电厂输卸煤燃料系统多维度无人值守综合监控平台设计研究[J]. 中国高新科技，2025 (14)：13-15.
[14]齐健，包国强，刘峰，等. 新疆某选煤厂智能装车定位系统的应用研究[J]. 自动化仪表，2023，44(10)：60-64.
[15]霍同乾，杜君. 铁路敞车余煤清扫设备研制[J]. 港口装卸，2024(6)：17-18，20.
[16]叶飞. 铁路货车装载状态图像智能识别技术研究[D]. 北京：中国铁道科学研究院，2024.
[17]李志康. 敞车摘钩机器人关键技术研究[D]. 济南：山东交通学院，2023.
[18]胡瑞朋. 基于卷积循环神经网络的手写汉字识别研究[D]. 邯郸：河北工程大学，2025.
[19]Liao G，Mohd Zubir M N，Yap H J，et al. Enhanced Convolutional Neural Network (CNN)-Long Short-Term Memory (LSTM) attention model with adaptive loss for lithium-ion battery state of health estimation[J]. PeerJ Computer Science，2025(11)：e3006.
[20]王志炜. 清代满文古籍识别方法研究[D]. 北京：北京交通大学，2024.
[21]曹福来，尤小梅，崔龙，等. 基于体素栅格的矿区敞车车厢自动定位与分割的研究[J]. 矿业研究与开发，2023，43(4)：195-201.
[22]朱萌，陈可，李明，等. 基于纹理分布特征的高光谱图像模糊区域识别[J]. 自动化技术与应用，2025，44(11)：79-83.
[23]林嘉鑫，裴求根，钱正浩，等. 基于 Transformer 模型的电网图像数据智能标注与识别技术研究[J]. 自动化技术与应用，2025，44(12)：98-100，176.
[24]郑祥，张鸿鹄，魏岩岩. 基于改进 SVM 的变电站设备红外图像故障诊断方法研究[J]. 电测与仪表，2024，61(12)：49-55.
[25]赖毅辉. 基于图像融合技术的铁路货运车辆检车系统设计[D]. 南昌：东华理工大学，2021.